

27. 9. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 18 NOV 2004

WIPO / PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 1 9 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 4 3 2 4 8
Application Number:

[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 4 - 0 4 3 2 4 8]

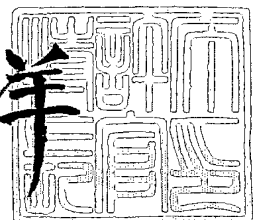
出 願 人 三 菱 電 機 株 式 会 社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 1 月 5 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 548782JP01
【提出日】 平成16年 2月19日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 33/09
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 長永 隆志
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 小林 浩
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 黒岩 丈晴
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内
 【氏名】 拜山 沙徳克
【特許出願人】
 【識別番号】 000006013
 【氏名又は名称】 三菱電機株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100102439
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 宮田 金雄
【選任した代理人】
 【識別番号】 100092462
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 高瀬 彌平
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011394
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおのこの、

反強磁性層と

前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層と

非磁性層と

外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層とが積層された構造を有し、

前記参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、

前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とする磁界検出器。

【請求項 2】

前記参照用磁気抵抗効果素子の固着層と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子の固着層との磁化方向が平行もしくは反平行であることを特徴とする請求項 1 記載の磁界検出器。

【請求項 3】

前記参照用磁気抵抗効果素子に磁気シールドを施すことを特徴とする請求項 1 記載の磁界検出器。

【請求項 4】

前記参照用磁気抵抗効果素子を複数有し、第 1 の参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と無磁界における自由層の磁化方向とが平行であり、第 2 の参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と無磁界における自由層の磁化方向とが反平行であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 5】

前記磁界検出用磁気抵抗効果素子に既知の磁界を印加することのできる磁界印加用の配線を有することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 6】

前記参照用磁気抵抗効果素子と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子とが同一基板上に形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 7】

既知の磁界を印加することのできる磁界印加用の配線を有し、前記磁界検出用磁気抵抗効果素子と同じ外部磁界応答特性を有する飽和磁界検出用磁気抵抗効果素子をさらに有する請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 8】

前記参照用磁気抵抗効果素子と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子と前記飽和磁界検出用磁気抵抗効果素子とが同一基板上に形成されていることを特徴とする請求項 7 に記載の磁界検出器。

【請求項 9】

前記磁界印加用の配線に電流を印加することにより磁界を発生させ、磁気抵抗効果素子の飽和磁界を測定し、その飽和磁界の値にもとづいて外部磁界を測定する事を特徴とする請求項 5、7 または 8 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 10】

前記参照用磁気抵抗効果素子と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子とに電流を印加し、出力された電圧の差分を測定することにより外部磁界を測定することを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の磁界検出器。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれかに記載の磁界検出器を用いた電流検出装置。

【請求項 12】

請求項 1 から 10 のいずれかに記載の磁界検出器を用いた位置検出装置。

【請求項 13】

請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載の磁界検出器を用いた回転検出装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】磁界検出器、これを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、巨大磁気抵抗効果もしくはトンネル磁気抵抗効果により磁界検出を行う磁界検出器およびこれを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

磁気抵抗 (MR: magnetoresistance) 効果は、磁性体に磁界を加えることにより電気抵抗が変化する現象であり、磁界検出器や磁気ヘッドなどに利用されている。近年、非常に大きな磁気抵抗効果を示す巨大磁気抵抗 (GMR: giant magnetoresistance) 効果材料として、Fe/Cr、Co/Cuなどの人工格子膜などが知られている。

【0003】

また、強磁性層間の交換結合作用がなくなる程度に厚い非磁性金属層を持つ強磁性層/非磁性層/強磁性層/反強磁性層からなる構造により、強磁性層/反強磁性層を交換結合させて、その強磁性層の磁気モーメントを固定しいわゆる固着層とし、他方の強磁性層のスピンのみを外部磁界で容易に反転できる自由層とした、いわゆるスピバルブ膜が知られている。反強磁性体としては、FeMn、IrMn、PtMnなどが用いられている。この場合、2つの強磁性層間の交換結合が弱く小さな磁界でスピンの反転できるので、高感度の磁気抵抗効果素子を提供できることから、高密度磁気記録用再生ヘッドとして用いられている。上記のスピバルブ膜は、膜面内方向に電流を流すことで用いられる。

【0004】

一方、膜面に対して垂直方向に電流を流す垂直磁気抵抗効果を利用すると、さらに大きな磁気抵抗効果が得られることが知られている。

さらには、強磁性層/絶縁層/強磁性層からなる3層膜において、外部磁界によって2つの強磁性層のスピンを互いに平行あるいは反平行にすることにより、膜面垂直方向のトンネル電流の大きさが異なることを利用した、強磁性トンネル接合によるトンネル磁気抵抗 (TMR: tunneling magnetoresistance) 効果も知られている。

【0005】

近年、GMRやTMR素子を、磁界検出器として用いる検討もされている。この場合、保磁力の異なる2つの強磁性層で非磁性金属層を挟んだ擬スピバルブ型や、前述のスピバルブ型の磁気抵抗効果素子が検討されている。磁界検出器へ利用する場合にはこれらの素子の磁性層が、外部磁界に応答して、各素子を構成する2つの磁性層の相対角を互いに換えることにより、抵抗値が変化する。この抵抗値の変化を定電流を流し、電圧の変化として信号読出しを行う。この際の読出しはGMRやTMR効果を利用して行なわれる。

【0006】

ここで、TMR素子に比較しGMR素子の磁気抵抗変化率は小さく、大きな変化率を得るためには強磁性層/非磁性層の繰返しの積層構造が必要となる。また、膜面に対して垂直方向に電流を流すGMR素子では、素子を長くする必要はないもののTMR素子と比較し素子抵抗が小さく、大きな出力信号を得るためには電流量を大きくする必要がある。これにより消費電力が大きくなる。さらに前述の膜面内方向に電流を流すGMR素子においては、大きな磁気抵抗効果を得るために、素子内の電流経路を十分に得る必要があり素子の長さを大きくする必要がある。

上記の理由により、磁界検出器においては、大きな出力信号が得られ任意の形状を用いることが可能なTMR素子を用いることが好ましい。

【0007】

さらに、単体の磁気抵抗効果素子で測定するのではなく、4個の磁気抵抗効果素子を用いてブリッジ回路を形成し、かつ固着層の磁化方向が逆向きの素子を組合わせ、高出力な

磁界検出器を形成する技術が提案されている。(特許文献1 参照)

【0008】

【特許文献1】 特許第3017061号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記、磁気抵抗効果素子を用いれば、磁気抵抗効果素子の電圧変化から外部磁界を測定することができる。また、上記ブリッジ回路の技術を用いれば、大きな出力信号を得ることは可能である。

しかし自由層の飽和磁界は、自由層の膜厚及び形状に依存するため、製造工程における再現性に起因するばらつきの影響を受けやすく、検出器によってばらつきが生じる。また、前述のように磁気抵抗効果素子としてはTMR素子を用いることが好ましいが、この場合、素子抵抗はトンネル絶縁層の膜厚に敏感であるため、出力信号は製造工程における再現性に起因するばらつきの影響を受けやすく、検出器によってばらつきが生じる。これにより、抵抗変化率および飽和磁界が変化した場合、その変化量に応じて検出される磁界に誤差が生じる。さらに、使用温度に依存しても抵抗変化率および飽和磁界は変化する。これによって検出器の感度および分解能は変化する。

従来、これらを校正するためには、磁界発生装置を用いて磁界を印加して各検出器における検出器毎の出力信号や飽和磁界を測定しておく必要があった。また、温度による素子特性の変化を校正するためには、前述の測定を各温度において実施し、出力信号を校正する必要があった。

【0010】

しかし、従来型の磁界検出器においては、上記の検出感度と分解能のばらつきを簡易に検出・校正することは不可能であり、これらを実施するためには、既知の外部磁界を発生させる巨大な磁界発生装置を用いる必要があった。

【0011】

それゆえ、本発明は、検出器の感度校正と分解能校正とを検出器単体で随時に行うことが可能な磁界検出器とその検出方法、およびこれを用いた物理量測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおの、反強磁性層と前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層と非磁性層と外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層とが積層された構造を有し、前記参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0013】

上記の磁界検出器によれば、任意の時に磁界発生装置を用いることなく抵抗変化率を校正することができる。また、外部磁界が印加された状態で、無磁界における磁界応答性を有する磁気抵抗効果素子を参照することで、同一検出器内で出力信号の比較が可能となり、素子の感度が変化した場合においても、安定した出力信号を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

まず、スピンバルブ型磁気抵抗効果素子を用いた磁界検出器の具体的な検出動作について、図1を参照して説明する。図1は磁気抵抗効果素子52の自由層および固着層の時刻方向を示す模式図である。図1においてはスピンバルブ型磁気抵抗効果素子の自由層の磁化方向2と固着層の磁化方向3が90°の方向である。このスピンバルブ型磁気抵抗効果

素子の固着層の磁化方向 3 に沿った方向に磁界が印加されると、自由層の磁化は外部磁界によりその方向を変化させる。この際、変化した自由層の磁化方向 2 a と固着層の磁化方向 3 がなす角に応じて、磁気抵抗効果素子の抵抗値は線形に変化する。

【0015】

具体的には固着層の磁化方向 3 を 0° とし、それに対して外部磁界 H が印加された際に自由層の磁化方向 2 a のなす角を θ とした場合、素子抵抗の変化は $\cos \theta$ に反比例する。自由層が一軸異方性を持った軟磁性膜である場合、 $\cos \theta = |H_k| / H$ となる。つまり、 $|H_k|$ より大きな外部磁界が印加された場合は、自由層の磁化方向 2 a は固着層の磁化方向に平行あるいは反平行に固定されてしまい、これ以上素子抵抗は変化しない。つまり、 H_k は自由層の飽和磁界である。

【0016】

この結果、素子抵抗は図 2 に示すように自由層の磁化方向 2 と固着層の磁化方向 3 が 90° の方向である場合には、
 $R = R_m + \Delta R / 2 \cdot H / |H_k|$ (ただし、 $-|H_k| \leq H \leq |H_k|$)
となる。ここで R_m は素子抵抗がとり得る最大の抵抗値と最小の抵抗値との中間値であり、無磁界中での素子抵抗である。また、 ΔR は素子の磁気抵抗変化率である。この素子抵抗 R は外部磁界に比例するため、素子抵抗を得ることにより外部磁界の大きさを検出することが可能である。なお、検出される外部磁界は、固着層の磁化方向 3 の方向成分である。また、固着層の磁化方向において検出可能な磁界領域、すなわち動作領域は $-|H_k| \leq H \leq |H_k|$ である。

上記の外部磁界に依存した素子抵抗により、素子を流れる電流もしくは電圧により磁界を検出することができる。

【0017】

以下、本発明の実施の形態について、その具体例を図にもとづいて説明する。

【0018】

実施の形態 1.

図 3 は、本発明の実施の形態 1 における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は 1 個の検出用磁気抵抗効果素子 1 (以下、検出用素子と表記する。) と 1 個の参照用磁気抵抗効果素子 1 1 (以下、参照用素子と表記する。) を有している。それぞれの素子 1、1 1 の断面構造の模式図を図 4 に示す。図 4 において、基板 6 1 上に配線層 6 2 が形成され、次に反強磁性層 6 3 が形成されている。次にこの反強磁性層 6 3 により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層 6 4 が形成されている。さらに、トンネル絶縁層となる非磁性層 6 5 を形成し、その上層に外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層 6 6 が形成されている。自由層 6 6 の上層には配線層 6 7 が形成されている。ここでは、反強磁性層 6 3、固着層 6 4、非磁性層 6 5、自由層 6 6 が順次積層される構成を示したが、構成はこれにとらわれるものではなく、逆に自由層から積層しても素子を構成することができる。

【0019】

図 3 では、素子 1、1 1 はともに長方形の素子形状を有している。素子 1、1 1 の縦横比は同じである必要はないが、素子 1、1 1 は素子抵抗を等しくするために同じ面積としている。

それぞれの素子 1、1 1 の自由層は、素子形状が長方形であるため、形状磁気異方性によりその磁化方向 2、1 2 は素子の長手方向となる。一方、検出用素子 1 の固着層 6 4 の磁化方向 3 は、無磁界における検出用素子 1 の自由層 6 6 の磁化方向 2 に対して、素子平面内で直交している。さらに、参照用素子 1 1 の固着層 6 4 の磁化方向 1 3 は、無磁界における参照用素子 1 1 の自由層 6 6 の磁化方向 1 2 と平行である。

また、それぞれの素子 1、1 1 の固着層 6 4 の磁化方向 3、1 3 はここでは同じである。

さらにそれぞれの素子 1、1 1 の自由層 6 6 と固着層 6 4 とに信号検出用の配線 4、4 4、1 4、1 6 が配線層 6 2、6 7 として形成接続され、検出回路へと接続されている。

【0020】

それぞれの素子1、11の自由層66および固着層64は強磁性体よりなっている。強磁性体を構成する材料として、例えばCo、Fe、Co-Fe合金、Co-Ni合金、Co-Fe-Ni、Fe-Ni合金などのCo、Ni、Feを主成分として含む金属、およびNiMnSb、Co₂MnGeなどの合金であればよい。

また、トンネル絶縁層である非磁性層65は、絶縁体であればよく、例えばTa₂O₅、SiO₂、MgO等の金属の酸化物があり、弗化物であってもよい。

【0021】

それぞれの素子1、11の固着層64は、前述のように、反強磁性層63と積層されることにより磁化方向を固定されている。つまり、反強磁性層63が固着層64のスピンの向きを固定することで、固着層64の磁化方向がそれぞれ3、13の方向に保たれている。この反強磁性層を構成する材料として例えばIrMn、NiMn、NiO、FeMn、PtMnがある。

【0022】

上記のそれぞれの膜は、例えばDCマグネトロンスパッタリングにより形成される。また、例えば分子線エピタキシー(MBE)法、各種スパッタ法、化学気相成長(CVD)法、蒸着法によって形成されてもよい。

【0023】

また、それぞれの素子1、11は、例えばフォトリソグラフィーにより形成する。この場合、自由層、トンネル絶縁膜および固着層の膜をそれぞれ形成後、フォトレジストによる所望のパターンを形成する。その後、イオンミリングもしくは反応性イオンエッチングにより素子の形状を得ることが可能である。また、電子線リソグラフィー、集束イオンビームによるパターンの形成であってもよい。

さらに、配線4、44、14、16は、例えばA1層よりなっている。

【0024】

また、検出用素子1および参照用素子11を同一のプロセスで同一基板上に同時に形成することが望ましい。上記のような成膜法やフォトリソグラフィー法では同時に実施した場合のばらつきはきわめて小さく、磁気抵抗の測定に問題となるばらつきはほとんど発生しない。

【0025】

それぞれの素子1、11の固着層の磁化方向3、13は例えば次の方法で設定する。反強磁性層と固着層の見かけ上の交換相互作用がなくなる、ブロッキング温度以上に磁界検出器を加熱し、固着層の飽和磁化を発生するための外部磁界を所望の方向に印加する。この状態でブロッキング温度以下に磁界検出器を冷却することにより、固着層において所望の磁化方向が得られる。

【0026】

本実施の形態においては、検出用素子1と参照用素子11との固着層の磁化方向3、13は平行であるため、熱処理時の印加磁界は同じ方向でよく、一様な磁界を印加することで本実施の形態の磁界検出器を形成することが可能である。

【0027】

ここで、素子1、11の形状は、自由層の磁化方向が所望に規定できるのであれば、長方形である必要はない。

また、それぞれの素子1、11はTMR素子であることが好ましい。これによって大きな出力信号と素子の小型化が両立可能である。

【0028】

次に、本実施の形態の磁界検出器の検出動作について図3、5を用いて説明する。

図3に示されるそれぞれの素子1、11に、磁界検出時にそれぞれ配線4、44、14、16を介して一定電流Iが流される。ここで、外部磁界Hが固着層3、13と同じ方向に印加された場合、外部磁界Hでの検出用素子1における素子抵抗は式(1)となり、出力電圧は式(2)となる。

$$R = R_m + \Delta R / 2 \cdot H / |H_k| \quad (1)$$

$$V = I \cdot (R_m + \Delta R / 2 \cdot H / |H_k|) \quad (2)$$

ここで、 R_m は外部から飽和磁界が印加された場合の素子抵抗、 ΔR は測定用素子 1 の磁気抵抗変化率、 H_k は飽和磁界の強度、 H は印加された外部磁界の強さ、 I は測定用素子 1 に流される電流の強さ、 V は測定用素子にかかる電圧である。

【0029】

一方、参照用素子 11 においては、自由層と固着層の無磁界における磁化方向 12、13 および外部磁界 H は同一であるため、外部磁界 H が印加された場合においても参照用素子 11 における自由層の磁化方向 12 と固着層の磁化方向 13 は同一のままであり、参照用素子 11 の素子抵抗は検出用素子 1 の抵抗の負磁界における飽和値と同じ値となる。このことから、参照用素子 11 において得られる素子抵抗 R_1 、出力電圧 V_1 はそれぞれ式 (3)、式 (4) となる。

$$R_1 = R_m - \Delta R / 2 \quad (3)$$

$$V_1 = I \cdot (R_m - \Delta R / 2) \quad (4)$$

【0030】

検出用素子 1 と 参照用素子 11 において得られる出力電圧の差 ΔV_1 は式 (5) であらわされる。

$$\Delta V_1 = I \cdot (1 + H / |H_k|) \cdot \Delta R / 2 \quad (5)$$

この式を変形すれば、

$$H = (2 \cdot \Delta V / I \cdot \Delta R - 1) \cdot H_k \quad (6)$$

となる。

この V 、 V_1 、 ΔV_1 と外部磁界 H および飽和磁界 H_k の関係は図 5 のとおりとなる。

ここで、 $\Delta R / 2$ は、参照用素子 11 と検出用素子 1 の無磁界における出力信号の差であり、無磁界における出力信号の差を求めて測定時にリアルタイムに ΔR を求めることができる。つまり、測定時の温度変化等で、 ΔR が変化した場合であっても、容易に正確に ΔR を求めることができる。また、 V 、 V_1 、 H_k は既知な値であるから、式 (6) を用いて外部磁界 H を求めることができる。

前述の出力信号は、検出用素子 1 と参照用素子 11 からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得ることが可能である。

【0031】

本実施の形態においてはそれぞれの素子 1、11 に一定電流を流したが、この電流はそれぞれの素子 1、11 で一定である必要はない。その場合、それぞれの素子 1、11 に流す電流の大きさの比が既知であれば、上記式 (3) ~ (6) を用いて外部磁界 H を求めることができる。

【0032】

また、本実施の形態においては、検出用素子の自由層の磁化方向 11 と固着層の磁化方向 12 は素子平面内において直交していたが、直交している必要はない。自由層の磁化方向 11 が固着層の磁化方向 12 と平行もしくは反平行でなければ、外部磁界 H により素子抵抗が変化するので、外部磁界 H を検出することができる。

【0033】

また、本実施の形態では参照用素子 11 の固着層の磁化方向 13 は、無磁界における参照用素子 11 の自由層の磁化方向 12 と平行としたが、反平行でもよい。反平行であった場合は、参照用素子 11 の素子抵抗は検出用素子 1 の抵抗の正磁界における飽和値と同じ値となる。

【0034】

本実施の形態によれば、参照用素子 11 と検出用素子 1 との差動検出を用いているために大きな出力信号が得られる。また、抵抗変化率 ΔR は無磁界における検出用素子 1 と参照用素子 11 との出力信号の差から得られているため、形成時の再現性に起因する素子抵抗ばらつきをもった場合や温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号を得ることが可能である。

また、それぞれの素子 1、11 の固着層の磁化方向 3、13 は同じ方向であるので、本実施の形態の磁界検出器を容易に形成することが可能である。

【0035】

さらに、参照用素子 11 に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド 5 を設けることもできる。

参照用素子 11 の磁気シールド 5 は高透磁率材料であればよく、例えば NiFe 層よりなっている。また、Co、Ni、Fe を主成分として含む他の合金であってもよい。

【0036】

磁気シールド 5 を設けることにより、参照用素子 11 は外部シールド 5 により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子の自由層の磁化方向 12 と固着層の磁化方向 13 とが平行あるいは反平行であれば、磁化方向は任意の向きとすることができる。

【0037】

実施の形態 2.

本実施の形態は、図 6 に示すように、実施の形態 1 の検出用素子 1、および参照用素子 11 に同じ構成の素子の組み合わせを付加し、ブリッジ回路を形成したものである。付加した検出用素子 41 は検出用素子と同一の構成を有し、また、参照用素子 51 は参照用素子 11 と同一の構成を有しているので説明を省略する。また、検出用素子 1 および 41 の固着層および自由層の磁化方向は同一である。この場合、 ΔV_1 は、配線 7 から 77 へと電流を流し、配線 8 および 88 の電位差を測定することで得ることができる。

本実施の形態においては、素子をブリッジ回路として形成しているので、より大きな出力を得ることができる。

【0038】

実施の形態 3.

図 7 は、本発明の実施の形態 2 における磁界検出器を示す上面図である。本実施の形態の磁界検出器は実施の形態 1 の磁界検出器にさらに参照用素子 21 を設けたものであり、実施に形態 1 と同一のものには同一符号を付す。それぞれの素子 1、11、21 は、実施の形態 1 と同様な積層構造である。ここでは、それぞれの素子 1、11、21 はともに長方形の素子形状を有している。それぞれの素子 1、11、21 の縦横比は同じである必要はないが、それぞれの素子 1、11、21 は素子抵抗を等しくするために同じ面積としている。

【0039】

それぞれの素子 1、11、21 の固着層の磁化方向 1、11、21 は磁化方向 1 と磁化方向 11 とは平行であり、磁化方向 11 と磁化方向 12 とは反平行である。無磁界における検出用素子 1 の自由層の磁化方向 2 は固着層の磁化方向 3 に対して、素子平面内で直交している。また、参照用素子 11、21 の無磁界における自由層の磁化方向 12、22 は、それぞれの固着層の磁化方向 13、23 に対して、それぞれ平行および反平行である。

それぞれの素子 1、11、21 の自由層と固着層には信号検出用の配線 4、44、14、16、24、26 が接続され、検出回路へと接続されている。ここで検出用素子 1 に接続される配線 4、44 は、一方は素子の自由層側に接続されており、もう一方は固着層側に接続されている。参照用素子 11、21 における配線 14、16、24、26 も同様な位置に接続されている。

【0040】

上記の素子 1、11、21 は TMR 素子であることが好ましい。これによって大きな出力信号と素子の小型化が両立可能である。

【0041】

それぞれの素子 1、11、21 の固着層の磁化方向 3、13、23 の決定は、実施の形態 1 と同様に、例えば熱処理により可能である。ここでは図示しないが、例えば素子の直上もしくは直下に配線を形成し、反強磁性層と固着層の磁氣的相互作用がなくなるブロッキング温度以上において、固着層の飽和磁化を発生するための所望の向きに電流を流す。この状態でブロッキング温度以下に温度を下げることにより、固着層において所望の磁化

方向が得られる。この磁界は、配線に電流を流すことによって生じる磁界に限らず、局所的に磁界を印加できればよい。

【0042】

上記の固着層の磁化方向 3、13、23 は、例えば外部磁界を印加した状態での素子 1、11 に局所的な熱処理を実施して磁化方向 3、13 を決定し、その後逆向きの磁界を印加した状態で、素子 21 に局所的な熱処理を実施し磁化方向 23 を決定することでも形成可能である。

【0043】

次に、本実施の形態の磁界検出器における動作について図 7 を用いて説明する。

図 7 に示されるそれぞれの素子 1、11、21 に、磁界検出時にそれぞれ配線 4、14、24 を介して素子に一定電流 I が流される。この際、外部磁界 H での検出用素子 1 における素子抵抗は式 (1) であり、出力電圧は式 (2) となる。ここで、参照用素子 11 においては、自由層の磁化方向 12 と固着層の磁化方向 13 は平行であり、参照用素子 21 においては、自由層の磁化方向 22 と固着層の磁化方向 23 は反平行である。このため、それぞれ参照用素子 11、21 は検出用素子 1 の抵抗の正負磁界における飽和値と同じ値となる。この参照用素子 11、21 において得られる出力電圧 V_1 、 V_2 はそれぞれ式 (5)、式 (6) であらわされる。

$$V_1 = I \cdot (R_m - \Delta R / 2) \quad (7)$$

$$V_2 = I \cdot (R_m + \Delta R / 2) \quad (8)$$

【0044】

これにより検出用素子 1 と参照用素子 11 において得られる出力電圧の差 ΔV_1 は次のとおりとなる。

$$\Delta V_1 = I \cdot (1 + H / |H_k|) \cdot \Delta R / 2 \quad (9)$$

同様に検出用素子 1 と参照用素子 21 において得られる出力電圧の差 ΔV_2 は次のとおりとなる。

$$\Delta V_2 = I \cdot (1 - H / |H_k|) \cdot \Delta R / 2 \quad (10)$$

さらに ΔV_1 と ΔV_2 の差は次のとおりとなる。

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = I \cdot \Delta R \cdot H / |H_k|$$

【0045】

ここで、 ΔR は、2 個の参照用素子 11、21 のそれぞれ出力信号の差によりその都度求めることができる。これは、本実施の形態の素子の飽和磁界は一定の既知の値であり、飽和磁界における、磁気抵抗を求めることにより、抵抗変化率を求めることができるためである。そのため、素子間の抵抗値のばらつきや温度による抵抗値の変化などの影響により抵抗変化率が変化しても、測定の都度、参照用素子 11、21 の出力から抵抗変化率を求めることができ、実使用の環境下における抵抗変化率を用いて精度よく外部磁界を検出することが可能となる。

前述の出力信号は、検出用素子 1 と参照用素子 11、21 からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得ることが可能である。

【0046】

本実施の形態においてはそれぞれの素子 1、11、21 に一定電流を流したが、この電流はそれぞれの素子 1、11、21 で一定である必要はない。その場合、それぞれの素子 1、11、21 に流す電流の大きさの比が既知であれば、上記式を用いて外部磁界 H を求めることができる。

【0047】

本実施の形態によれば、2 個の参照用素子 11、21 と検出用素子 1 との差動検出を用いているために大きな出力信号が得られる。

さらに、本実施の形態においては、抵抗変化率 ΔR は参照用素子 11、21 の出力信号から得られているため、形成時の再現性に起因して素子抵抗ばらつきをもった場合および温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号が得られる。

また検出用素子 1 の出力信号の最大値と最小値の両者が得られているために、さらに高

い信頼性と精度が得られる。

【0048】

また、参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5は実施の形態1と同様の材料からなる。

【0049】

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子11の自由層の磁化方向12と固着層の磁化方向13の方向が平行でかつ、参照用素子21の自由層の磁化方向22と固着層の磁化方向23の方向が反平行であれば、参照用素子11、21の自由層の磁化方向12、13は任意の向きとすることができる。

【0050】

また、 ΔV_1 と ΔV_2 は、実施の形態2と同様な方法で、検出用素子1と参照用素子11、21を用いてブリッジ回路を構成することでも検出可能である。

【0051】

実施の形態4.

図8は、本発明の実施の形態4における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は、図3および実施の形態1の構成に加え、検出用素子1に磁界を印加するための配線6を備えている。この配線6は例えば検出用素子1の直上に自由層の磁化方向2に平行に配置されている。なお、図3と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。

【0052】

ここであらかじめ無磁界において、検出用素子1の直上に配置された配線6に一定の電流を流す。これにより検出用素子1に既知の磁界を印加することができる。この際、検出用素子1の自由層の磁化方向は印加された磁界により磁化方向2aに印加された磁界に応じて回転する。

配線6に流れた電流により磁界 H' を印加し、検出用素子1に一定電流 I を流した場合では、検出用素子1における出力電圧 V_3 は次のようになる。

$$V_3 = I \cdot (R_m + \Delta R / 2 \cdot H' / |H_k|) \quad (11)$$

同様に参照用素子11に一定電流 I を流した場合の出力電圧は式(4)より求めることができるので、その出力電圧の差は次のようになる。

$$V_3 - V_1 = I \cdot (1 + H' / |H_k|) \cdot \Delta R / 2 \quad (12)$$

ここで、 ΔR は実施の形態1において説明したとおり、検出用素子1と参照用素子11との無磁界における出力信号の差で求めることができる。また、 I および H' はあらかじめ設定した値であるため、式(12)を用いて H_k を求めることが可能となる。外部磁界がない条件下では、配線電流磁界 H' は1点であっても飽和磁界は検出可能である。

【0053】

上記の飽和磁界の検出は無磁界中である必要ではなく、外部磁界が印加された状態であっても、それが変化しなければ、異なる2点の配線電流磁界、例えば $-H'$ 、 $+H'$ を印加することで実施可能である。この検出は外部磁界の測定前や測定時の温度が変化した場合など、必要に応じて実施すればよい。

【0054】

上記の方法で求めた飽和磁界を用いて、外部磁界の検出は、実施の形態1と同様な方法で行えばよい。

【0055】

ここで飽和磁界は、図6および実施の形態2と同様な方法で、検出用素子1と参照用素子11を用いてブリッジ回路を構成することでも検出可能である。

【0056】

上記の出力信号は、検出用素子1と参照用素子11からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得られる。

【0057】

本実施の形態によれば、検出用素子 1 に外部磁界を任意に印加できる構成とすることにより、飽和磁界の検出が外部磁界を要せずに可能となる。そのため、検出器のみで必要に応じて随時飽和磁界を検出できる。これにより外部の磁界発生器を用いず、かつ必要に応じて検出器の分解能を校正することが可能となる。

【0058】

さらに、図 9 に示すように、図 7 の構成に加え、検出用素子 1 に磁界を印加するための配線 6 を配置することも可能である。なお、図 9 において、図 7 と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。このようにすれば、図 7 の構成においても検出用素子 1 の自由層の飽和磁界を外部磁界を要せずに検出することが可能である

【0059】

また、図 8、図 9 において参照用素子 11、21 に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド 5 を設けることもできる。

磁気シールド 5 を設けることにより、参照用素子 11、21 の自由層の磁化方向は任意の向きとすることができる。

【0060】

実施の形態 5.

図 10 は、本発明の実施の形態 5 における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は、図 3 および実施の形態 1 で示した検出器と同様な構成に加え、外部磁界に対して検出用素子 1 と同じ磁気抵抗効果特性を示す飽和磁界検出用磁気抵抗効果素子（以下飽和磁界検出用素子と表記する）31 を備えている。ここでは、検出用素子 1 と飽和磁界検出用素子 31 とは同一の形状を有するように作成している。

なお、飽和磁界検出用素子 31 は検出用素子 1 と同じ磁気抵抗効果特性を有しておればよく特に配置についての制限はない。なお、図 3 と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。

また、磁界印加用の配線 6 を飽和磁界検出用素子 31 の直上に配置しており、この配線 6 は例えば検出用素子 1 の直上に自由層の磁化方向 2 に平行に配置されている。

【0061】

また、検出用素子 1、参照用素子 11 および飽和磁界検出用素子 31 を同一のプロセスで同一基板上に同時に形成することが望ましい。上記のような成膜法やフォトリソグラフィ法では同時に実施した場合のばらつきはきわめて小さく、磁気抵抗の測定に問題となるばらつきはほとんど発生しない。

【0062】

次に、本実施の形態の磁界検出器における検出動作について説明する。

磁界検出の動作は、実施の形態 1 での検出動作と同様である。

さらに、実施の形態 4 に記載と同様な方法により飽和磁界検出用素子 31 の自由層の飽和磁界を検出することができる。検出用素子 1 と飽和磁界検出用素子 31 とは同じ磁気抵抗効果特性を有しているので、飽和磁界検出用素子 31 の飽和磁界を求めることにより、検出用素子 1 の飽和磁界を求めることが可能とある。

【0063】

本実施の形態によれば、検出用素子 1 と自由層の飽和磁界を得るための飽和磁界検出用素子 31 とが独立であるため、外部磁界の検出を行いつつ、随時飽和磁界の検出が可能である。そのため、外部磁界を検出中の飽和磁界を求めることができるので測定中の分解能校正が可能となり、さらに精度よく外部磁界を測定することができる。

また、外部磁界の測定を中断することなく、磁界検出器の分解能校正を行うことが可能となる。

【0064】

図 11 に示すように、図 7 の構成に加え、飽和磁界検出用素子 31 を備えることも可能である。なお、図 11 において、図 7 と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。このようにすれば、図 7 の構成においても検出用素子 1 の自由層の飽和磁界を外部磁界の測定中に外部磁界を要せずに検出することが可能である

【0065】

また、図10、図11において参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21の自由層の磁化方向は任意の向きとすることができる。

【0066】

実施の形態6.

図12は、本実施の形態における電流検出装置を示す斜視図である。ここに示す電流検出装置101は、例えば図3および実施の形態1に示した磁界検出器からなる電流検出装置であり、被測定電流が流れる配線102から、一定の距離が保たれて配置されている。ここでは図示しないが、電流検出装置101は実施の形態1に示した部材を全て備えており、かつ出力信号検出回路も備えている。

【0067】

電流検出装置101内に配置されている検出用素子1は、被測定電流が流れる配線102から発生する外部磁界の方向と検出方向が一致するように配置されている。具体的には、検出用素子1の固着層の磁化方向と外部磁界の方向を一致させればよい。

【0068】

次に、本実施の形態の電流検出装置における電流検出動作について説明する。

被測定電流*i*が配線102に流れると、電流の作用により配線と垂直な方向に環状磁界が発生する。この磁界*H*の大きさは、 $H = k \cdot i / R$ で表される。*k*は比例定数で*R*は配線からの距離である。ここで、電流検出装置101内の検出用素子1と配線との距離を測定しておけば、比例定数*k*は既知であるので、実施の形態4で示した磁界検出器により磁界*H*を測定することにより配線電流*i*を検出することが可能である。

また、他の実施の形態の磁界検出器を電流検出器に用いることももちろん可能である。

【0069】

本実施の形態によれば、本発明で示された磁界検出器を用いているために、電流検出において温度の変化および検出器毎の特性ばらつきがあった場合でも、安定した出力信号が得られかつ検出器の分解能を校正することが可能なため、高精度な電流検出を行うことができる。

【0070】

実施の形態7.

図13は、本実施の形態における位置検出装置を示す斜視図である。ここに示す位置検出器107は、例えば図3および実施の形態1に示した磁界検出器からなる位置検出装置であり、被測定物には周期的に磁石103が備えられている。この磁石は例えば隣接する磁石同士が逆の極性を有している。ここでは検出用素子1のみしか図示しないが、位置検出器107は例えば図3および実施の形態1に示した部材を全て備えており、かつ出力信号検出回路も備えている。

【0071】

次に、本実施の形態の位置検出装置における位置検出動作について説明する。

被測定物が移動すると、そこに備えられた磁石103からの磁束により、位置検出器107における磁界が変化する。被測定物は周期的に磁石103を備えているために、この移動による検出器における磁界の変化を検出することにより、位置検出器107を通過した磁石を計数することが可能である。これにより被測定物の移動量を測定することが可能となる。これは、直線的に移動するものに限らず、例えば、回転体の回転量を検出することも可能である。

また、他の実施の形態の磁界検出器を位置検出器に用いることももちろん可能である。

【0072】

本発明の位置検出器はこの構成に限定されるものではなく、被測定物からの磁束の変化を検出できる構成であれば良い。

【0073】

本実施の形態によれば、本発明の磁界検出器を用いているために、位置検出において温度の変化および検出器毎の特性ばらつきがあった場合でも、安定した出力信号が得られかつ検出器の分解能を校正することが可能であり、高精度な位置検出を行うことができる。

【0074】

実施の形態 8.

図 1 4 は、本実施の形態における回転検出器を示す側面図である。ここに示す回転検出器 1 0 8 は、例えば図 3 および実施の形態 1 に示した磁界検出器および被測定物の方向に着磁した永久磁石 1 0 4 を備えている。被測定物は透磁率の大きな軟磁性体からなる例えば歯車 1 0 5 である。ここでは検出用素子 1 のみしか図示しないが、回転検出器 1 0 8 は例えば図 3 および実施の形態 1 に示した部材を全て備えており、かつ出力信号検出回路も備えている。

【0075】

検出用素子 1 は、永久磁石 1 0 4 および歯車 1 0 5 により発生する外部磁界を検出できる方向に配置されている。例えば、検出用素子 1 の固着層の磁化方向は歯車 1 0 5 の中心方向である。

【0076】

次に、本実施の形態の回転検出器における回転検出動作について説明する。

本回転検出器 1 0 8 は被測定物方向に着磁した永久磁石 1 0 4 を備えているために、被測定物である歯車 1 0 5 の歯 1 0 6 は、磁石 1 0 4 からの磁束により磁化する。この磁化した歯 1 0 6 により歯車 1 0 5 が回転した場合、磁界検出器 1 0 1 における磁界が変化する。この歯 1 0 6 の回転による磁界の変化を検出することにより、磁界検出器 1 0 1 を通過した歯の数を計数することが可能である。これにより被測定物の回転量を測定することが可能となる。これは、回転運動するものに限らず、例えば、直線的に移動する被測定物の移動量を検出することも可能である。

【0077】

本発明の回転検出器はこの構成に限定されるものではなく、被測定物からの磁束の変化を検出できる構成であれば良い。

【0078】

本実施の形態によれば、被測定物に磁界検出用の磁石を設置する必要がなく、高精度な位置検出を行うことができる。また、回転体が透磁率の大きな軟磁性体で歯車形状を有していれば、既存の回転体を利用可能である。

【0079】

上記においては磁界検出器およびこれを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出器について説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、磁気記憶装置、磁気記録ヘッド、磁気記録媒体などのパターン化された磁気素子、および電力検出器などの被測定物が磁界を発する検出器であれば類似する他の装置に広く適用することができる。

【0080】

また、上記においては 3 個もしくは 4 個のトンネル磁気抵抗効果素子からなる磁界検出器について説明したが、検出器にはそれ以外の数のトンネル磁気抵抗効果素子が含まれていてもよい。さらにこれらの素子が例えばブリッジ回路を形成していてもよい。また磁気抵抗効果素子にトンネル磁気抵抗効果素子を用いることが好ましいが、これに限定されるものではなく、巨大磁気抵抗効果素子など、一方の磁化方向が固定された強磁性層を含むその他の磁気抵抗効果素子であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0081】

【図 1】 磁気抵抗効果素子の自由層および固着層の磁化方向を説明する図である。

【図 2】 磁気抵抗効果素子の素子抵抗の外部磁界依存性を説明する図である。

【図 3】 実施の形態 1 の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 4】 実施の形態 1 の磁界検出器の磁気抵抗効果素子の断面構造の模式図である。

【図 5】 実施の形態 1 の磁界検出器の出力信号を説明するための図である。

【図 6】実施の形態 2 の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 7】実施の形態 3 の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 8】実施の形態 4 の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 9】実施の形態 4 の他の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 1 0】実施の形態 5 の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 1 1】実施の形態 5 の他の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。

【図 1 2】実施の形態 6 の電流検出装置を説明するための斜視図である。

【図 1 3】実施の形態 7 の位置検出装置を説明するための斜視図である。

【図 1 4】実施の形態 8 の回転検出装置を説明するための側面図である。

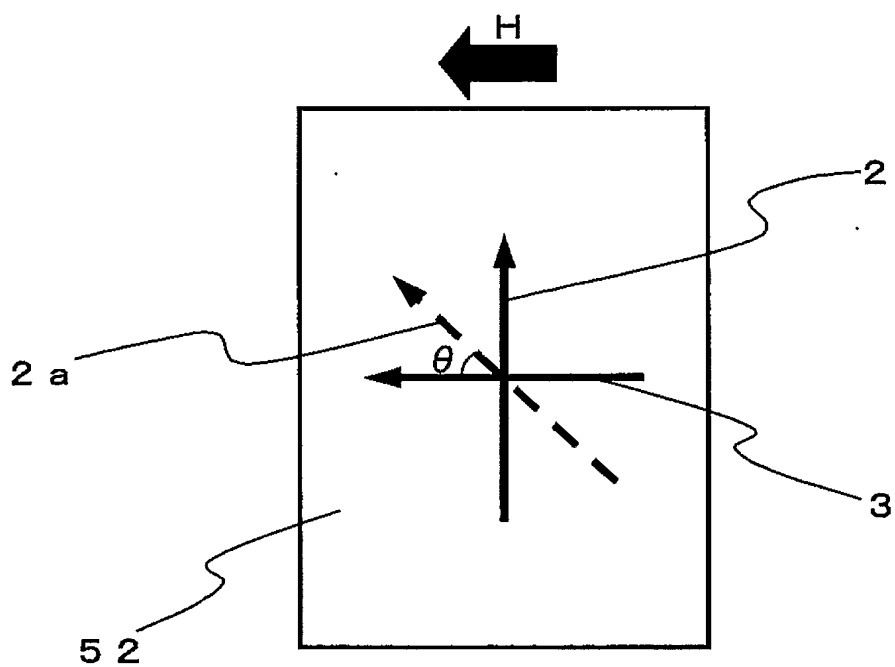
【符号の説明】

【0 0 8 2】

- 1、4 1 検出用素子
- 2、1 2、2 2、3 2 無磁界における自由層の磁化方向
- 2 a、3 2 a 磁界が印加された場合の自由層の磁化方向
- 3、1 3、2 3、3 3 固着層の磁化方向
- 4、7、8、1 4、1 6、2 4、2 6、3 4、3 6、4 4、7 7、8 8 金属配線
- 5 磁気シールド
- 6 磁界印加用の金属配線
- 1 1、2 1、5 1 参照用素子
- 3 1 飽和磁界検出用素子
- 5 2 磁気抵抗効果素子
- 6 1 基板
- 6 2、6 7 配線層
- 6 3 反強磁性層
- 6 4 固着層
- 6 5 非磁性層
- 6 6 自由層
- 1 0 1 電流検出装置
- 1 0 2 配線
- 1 0 3、1 0 4 磁石
- 1 0 5 歯車
- 1 0 6 歯車の歯
- 1 0 7 位置検出器
- 1 0 8 回転検出器

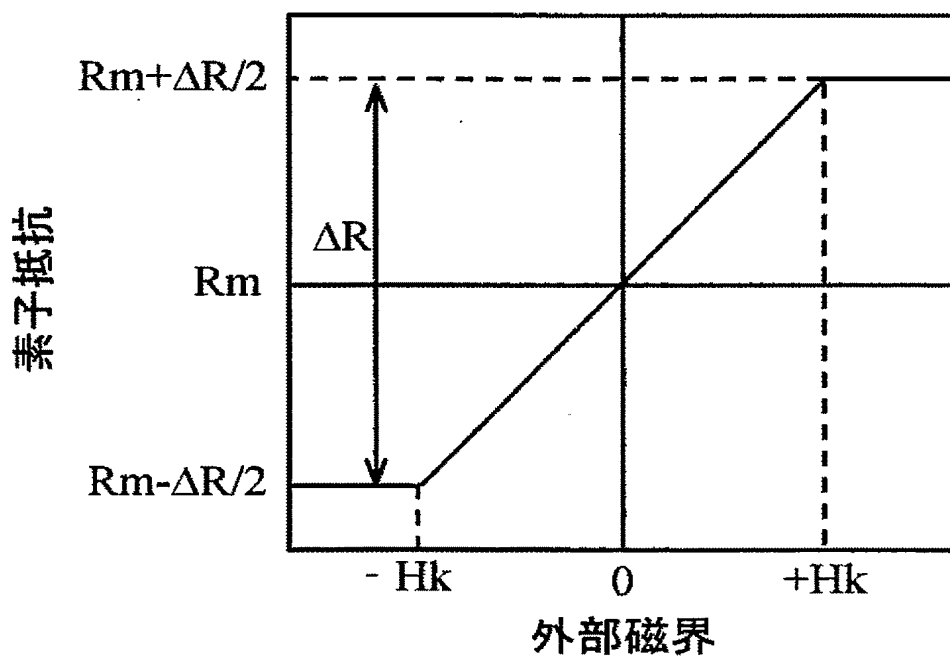
【書類名】 図面

【図 1】

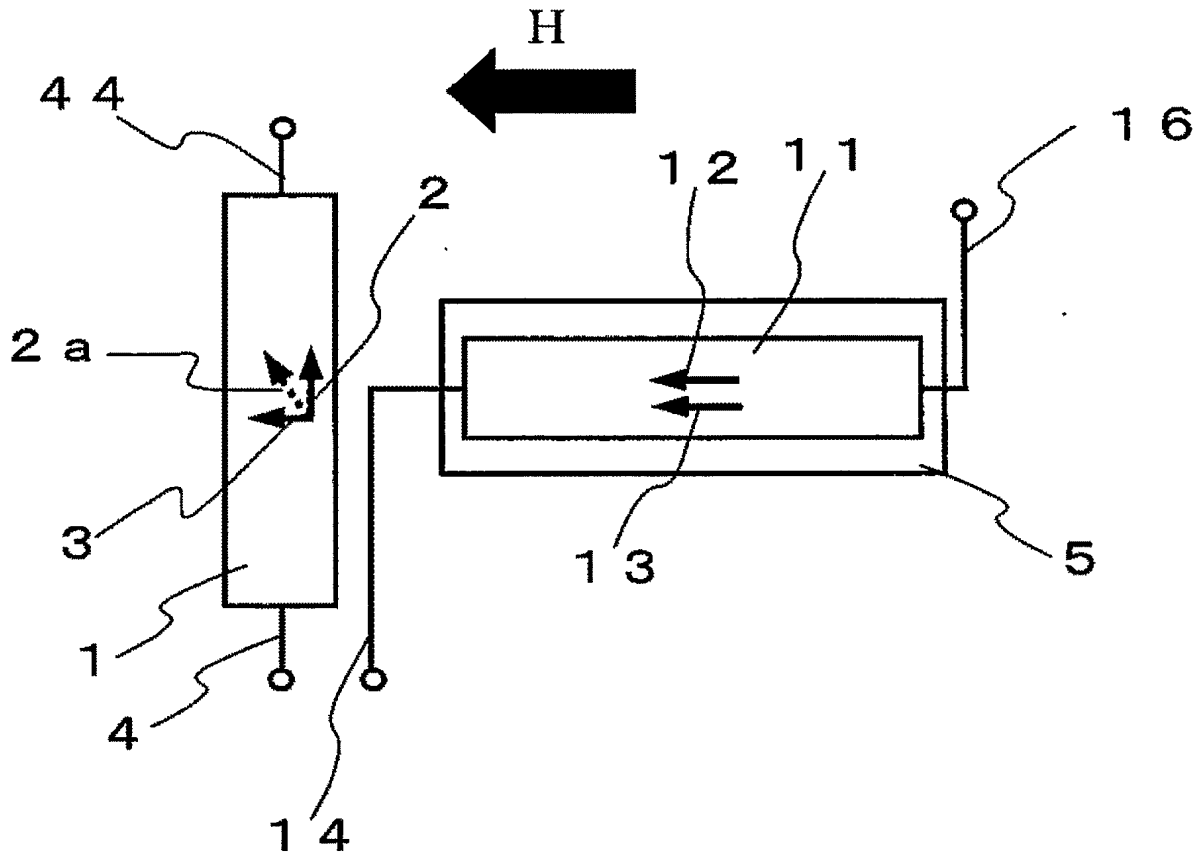


- 2 無磁界における自由層の磁化方向
- 2 a 磁界が印加された場合の自由層の磁化方向
- 3 固着層の磁化方向
- 5 2 磁気抵抗効果素子

【図 2】

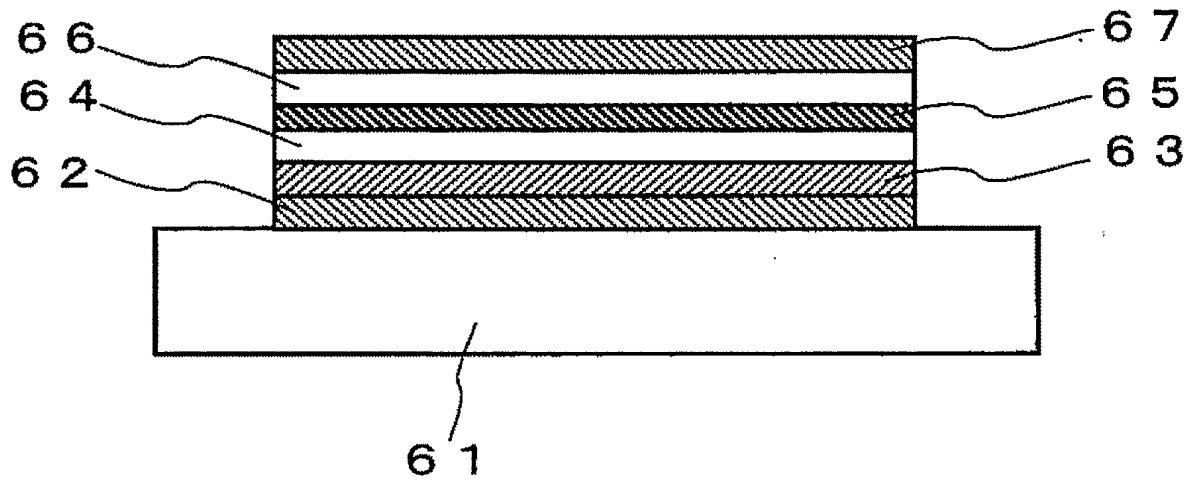


【図 3】



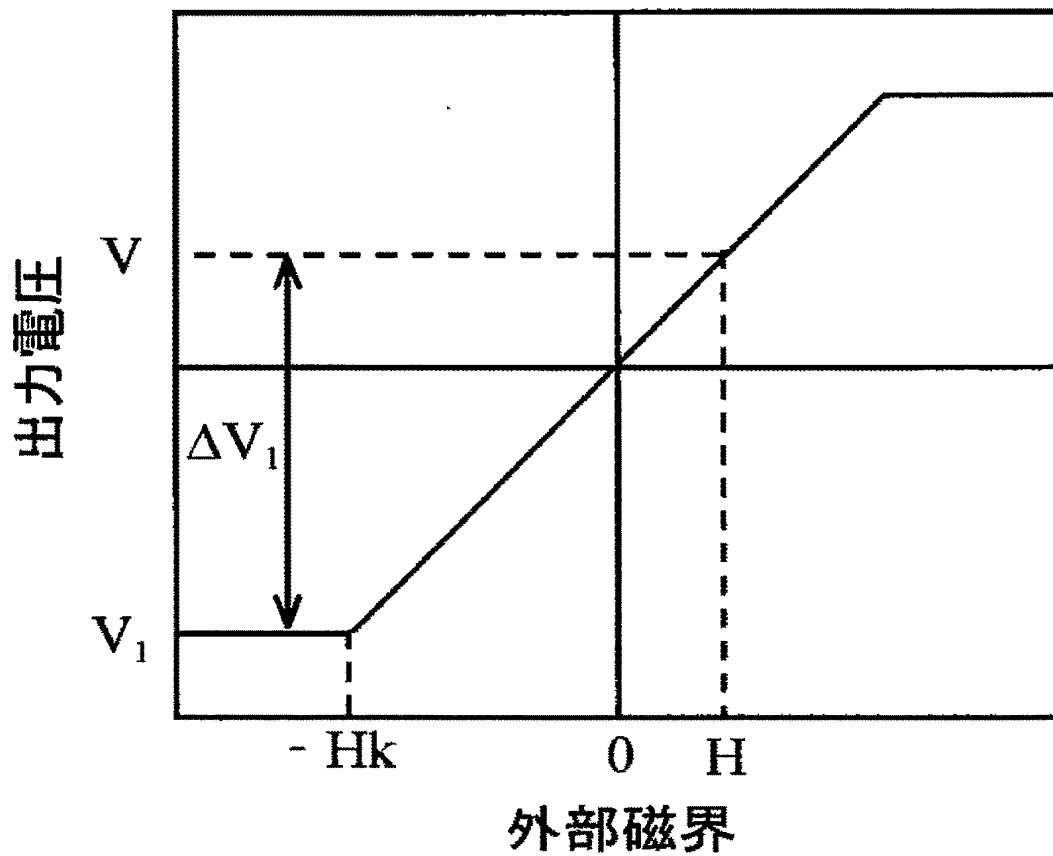
- 1 検出用素子
- 4、1 4、1 6、4 4 金属配線
- 5 磁気シールド
- 1 1 参照用素子
- 1 2 無磁界における自由層の磁化方向
- 1 3 固着層の磁化方向

【図 4】

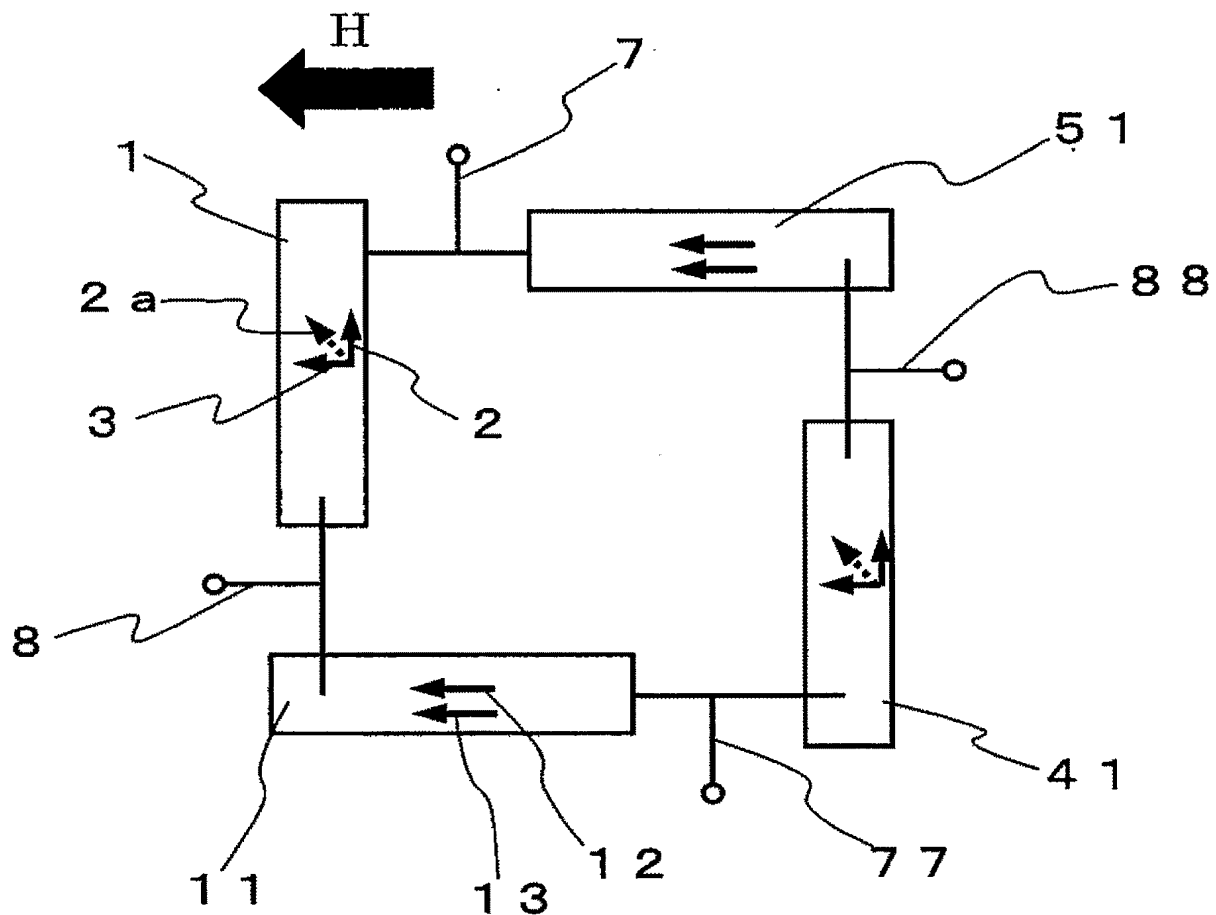


- 61 基板
- 62、67 配線層
- 63 反強磁性層
- 64 固着層
- 65 非磁性層
- 66 自由層

【図 5】



【図 6】

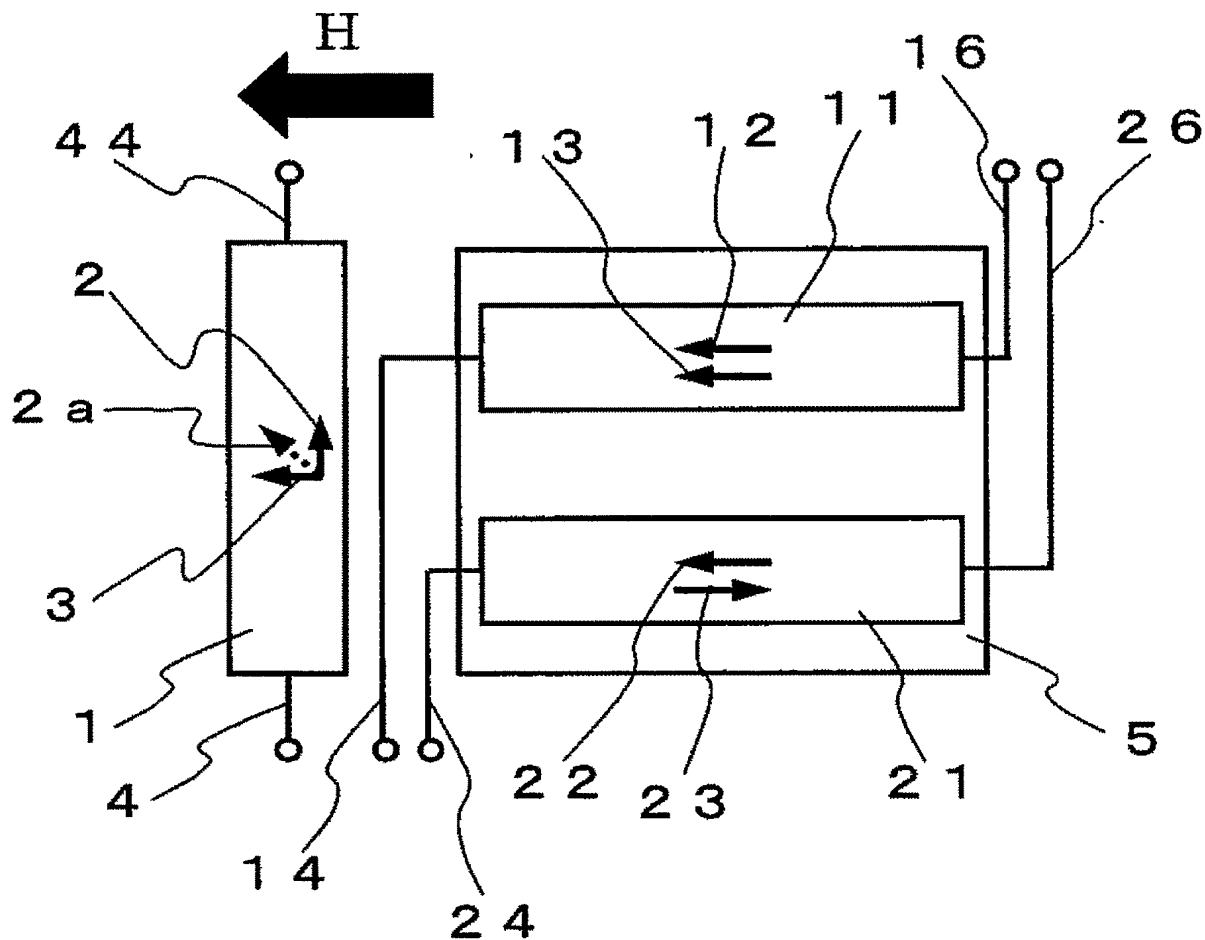


41 検出用素子

51 参照用素子

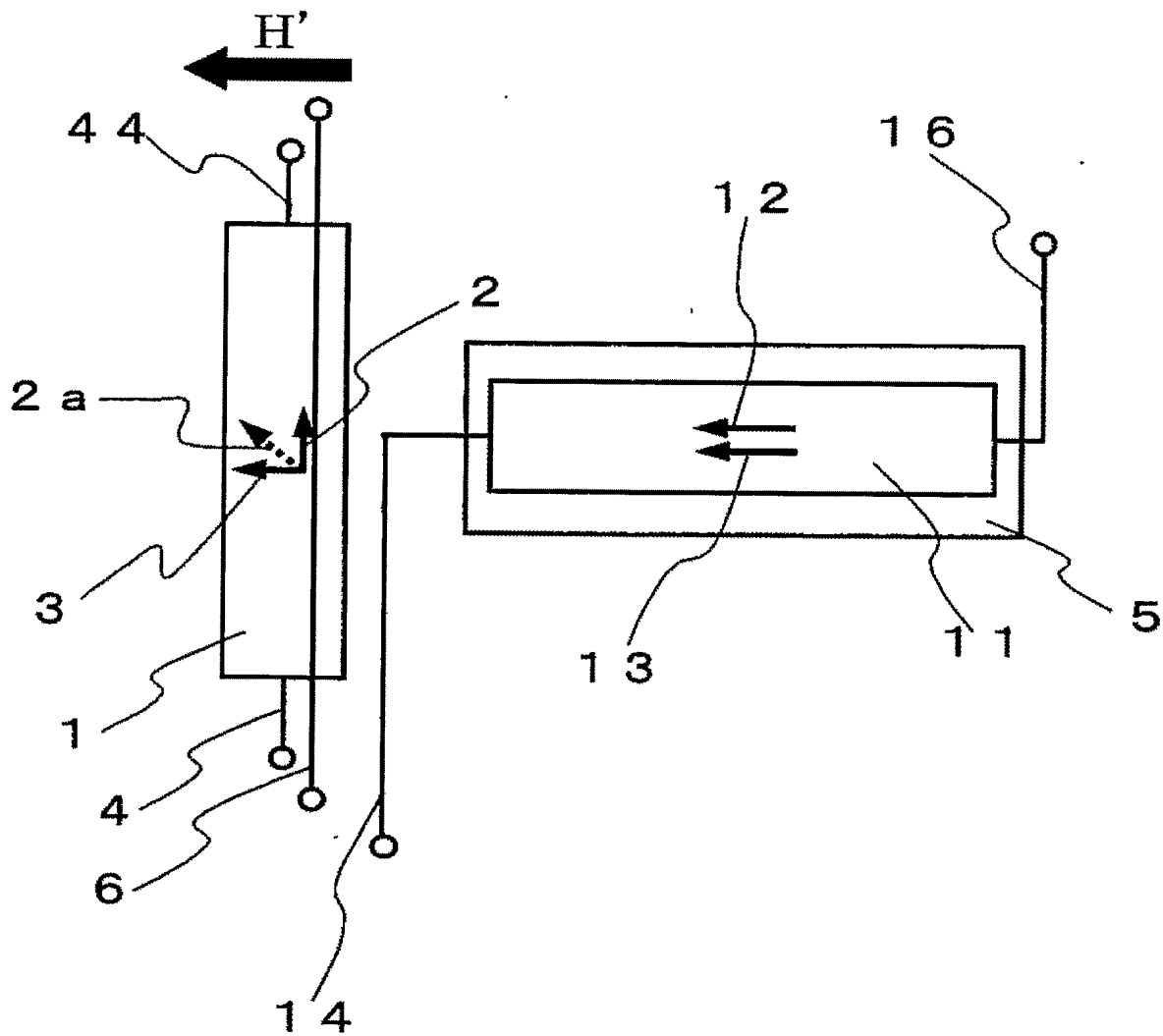
7、8、77、88 金属配線

【図 7】



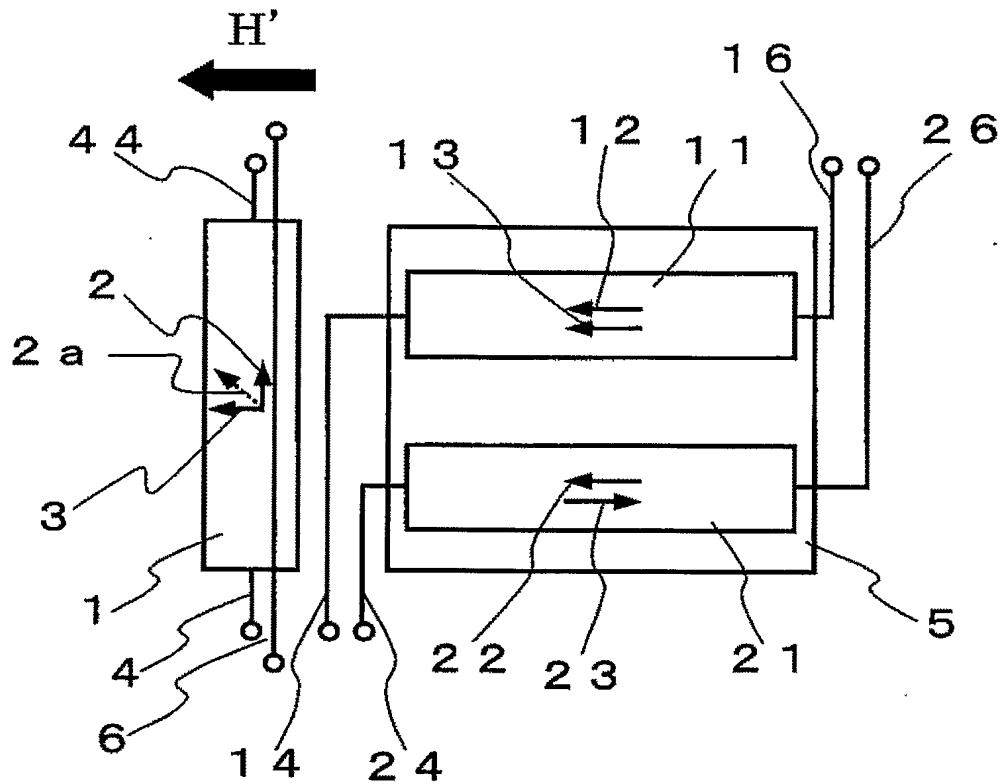
- 2 1 参照用素子
 2 2 無磁界における自由層の磁化方向
 2 3 固着層の磁化方向
 2 4、2 6 金属配線

【図 8】

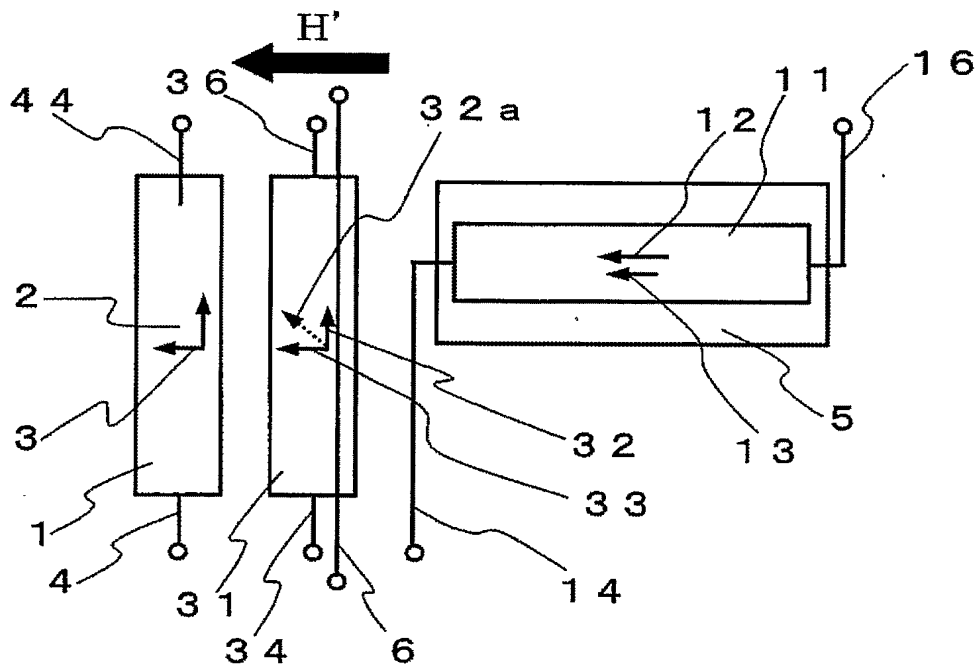


6 磁界印加用の金属配線

【図 9】

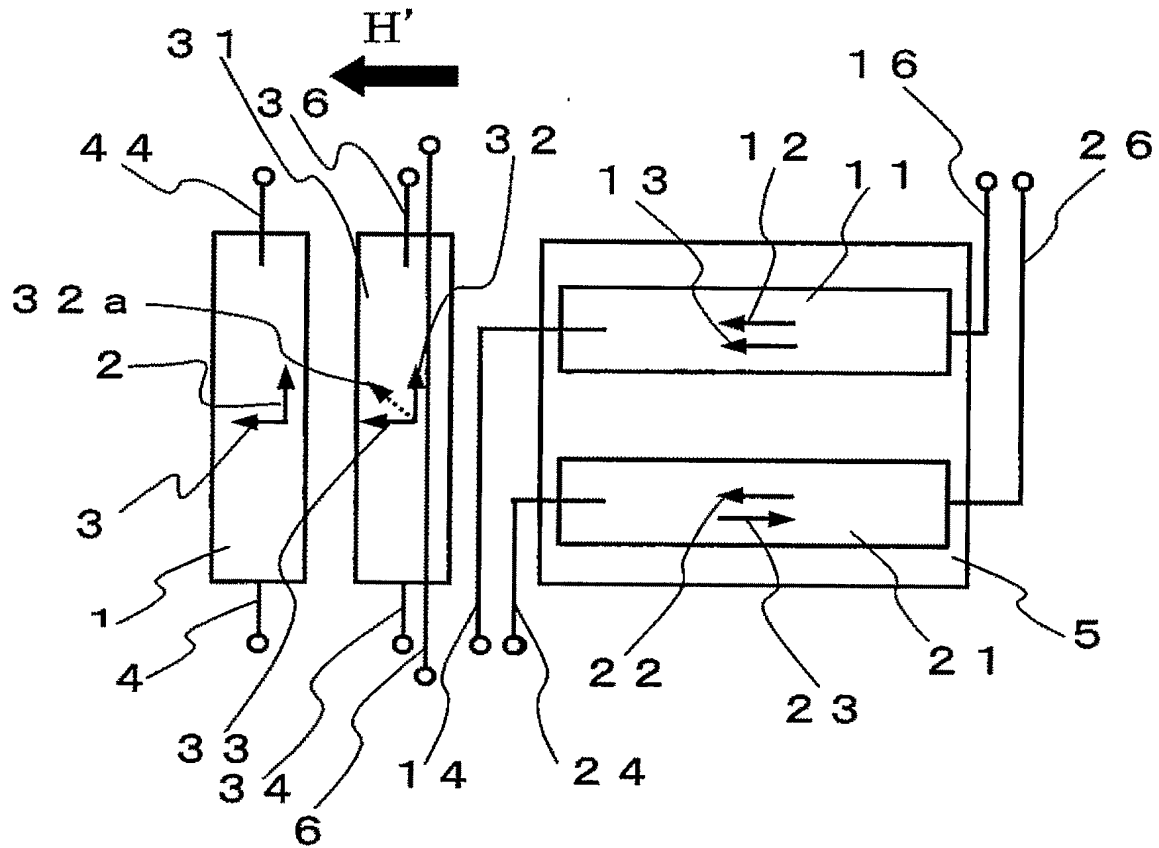


【図 10】

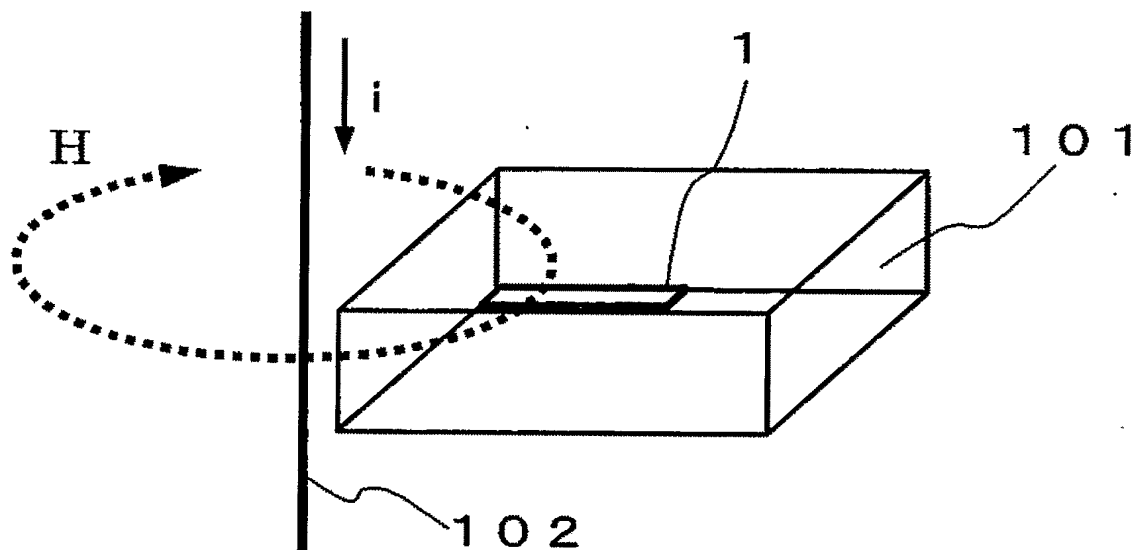


- 3 1 飽和磁界検出用素子
- 3 2 無磁界における自由層の磁化方向
- 3 2 a 磁界が印加された場合の自由層の磁化方向
- 3 4、3 6 金属配線

【図 11】



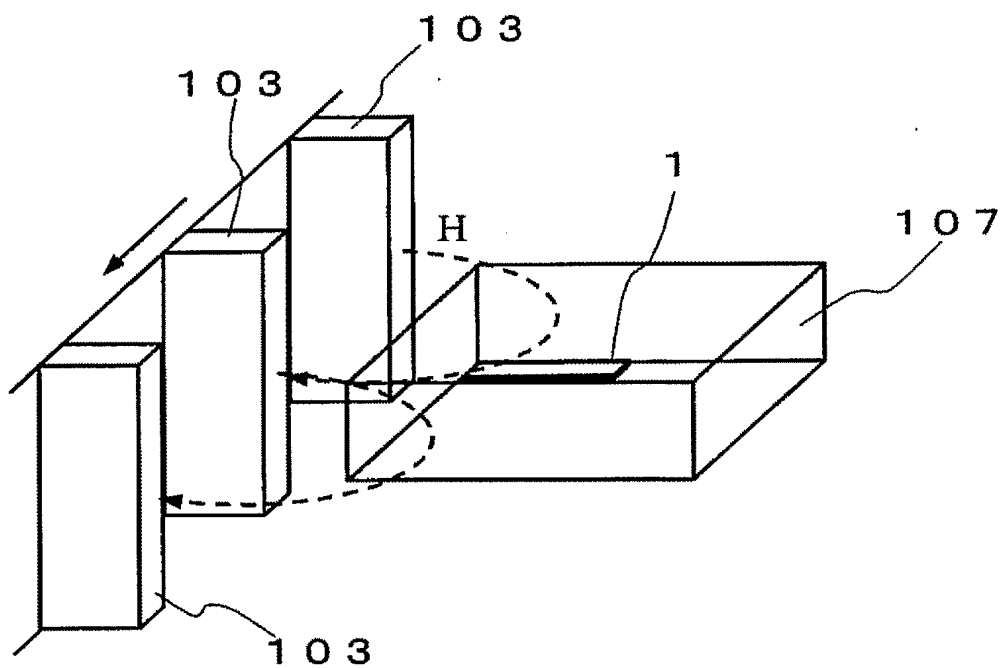
【図 12】



101 電流検出装置

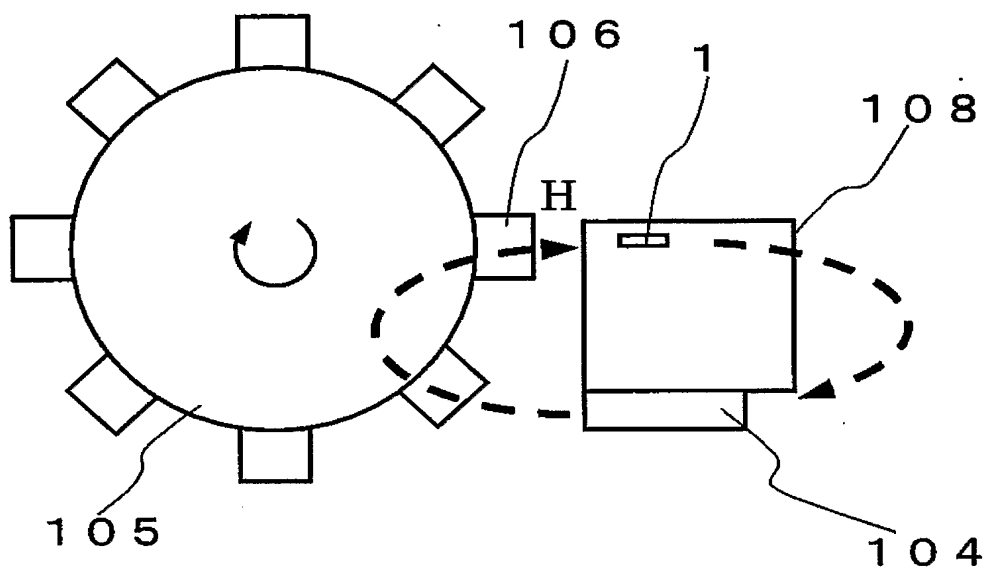
102 配線

【図 13】



103 磁石
107 位置検出器

【図 14】



104 磁石
105 歯車
106 歯車の歯
108 回転検出器

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 検出器の感度校正と分解能校正が単体でかつ随時可能な磁界検出器とその検出方法、およびこれを用いた物理量測定装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおのの、反強磁性層と前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層と非磁性層と外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層とが積層された構造を有し、前記参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とする。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 4 - 0 4 3 2 4 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 0 1 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

氏 名

三菱電機株式会社